

DE 00 / 613

REC'D 10 MAY 2000

WIPO PCT



Bescheinigung

4
neu
8 SEP (172)

Die Siemens Aktiengesellschaft in München/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zur Kompensation von Störungen bei einem mit
Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal und
Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens"

am 1. März 1999 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig die Symbole H 04 L und H 04 J der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 17. April 2000

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Patenzzeichen: 199 08 806.3



**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Brand

THIS PAGE BLANK (USPTO)



Beschreibung

Verfahren zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal und Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 1 und eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens nach dem Oberbegriff von Patentanspruch 4.

Die diskrete Multiton-Modulation (DMT) - auch Mehrträgermodulation - ist ein Modulationsverfahren, das sich insbesondere zur Übertragung von Daten über linear verzerrende Kanäle eignet. Gegenüber einem sogenannten Einträgerverfahren - beispielsweise die Amplitudenmodulation - , das nur eine Trägerfrequenz aufweist, werden bei der diskreten Multiton-Modulation eine Vielzahl von Trägerfrequenzen benutzt. Jede einzelne Trägerfrequenz wird in der Amplitude und Phase nach der Quadraturamplituden-Modulation (QAM) moduliert. Man erhält somit eine Vielzahl von QAM-modulierten Signalen. Pro Trägerfrequenz kann dabei eine bestimmte Anzahl an Bits übertragen werden. Die diskrete Multiton-Modulation wird beispielsweise für den digitalen Rundfunk DAB (Digital Audio Broadcast) unter der Bezeichnung OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex) und zur Übertragung von Daten über Telefonleitungen unter der Bezeichnung ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) eingesetzt.

Bei ADSL ist der physische Übertragungskanal eine Zweidrahtleitung (Kupferdoppelader) des Telefonnetzes. Allerdings weist ein solcher Übertragungskanal eine lange Einschwingzeit auf. Mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugte Signale enthalten typischerweise sehr kurze Impulse mit einer hohen Am-

plitude, die bei diesem Übertragungskanal langsam ausklingende Impulsantworten bewirken. Ist eine Impulsantwort noch nicht vollständig abgeklungen, wenn ein neuer Impuls beim Empfänger eintrifft, so treten Störungen im Empfänger auf.

5 Zur Kompensation solcher Störungen enthalten DMT-Empfänger beispielsweise Zeitbereichsentzerrer, die die Impulsantwort des Übertragungskanals verkürzen und Störungen aufgrund einer Überlagerung einer noch nicht abgeklungenen Impulsantwort eines Impulses und einer Impulsantwort eines nachfolgenden Impulses vermeiden sollen.

Der Zeitbereichsentzerrer (TDEQ = Time domain Equalizer) kann beispielsweise als digitales Transversalfilter, dessen Koeffizienten einstellbar sind, ausgeführt sein. Der Entwurf
15 solcher Zeitbereichsentzerrer ist in Al-Dhahir, N., Cioffi, J.M., "Optimum Finite-Length Equalization for Multicarrier Transceivers", IEEE Trans.on Comm., Vol.44, No.1, Jan.1996 beschrieben.

20 Nachteilig ist bei solchen Zeitbereichsentzerrern jedoch die hohe Anzahl an Koeffizienten, die das als Zeitbereichsentzerrer eingesetzte digitale Transversalfilter aufweist, und die aufwendige Adaption des digitalen Transversalfilters. Bei einer Filterlänge von 20 bis 40 Koeffizienten sind pro Sekunde
25 ungefähr 50 bis 100 Millionen Multiplikationen durchzuführen. Dementsprechend benötigt ein digitales Filter zur Zeitbereichsentzerrung eine sehr hohe Rechenleistung. Zusätzlich muß zur Adaption des digitalen Transversalfilters jeder Koeffizient eingestellt werden. Dies erfordert eine lange Ad-
30 aptionszeit, die zu Beginn einer ADSL-Übertragung vorgesehen werden muß.

Das der Erfindung zugrundeliegende technische Problem liegt daher darin, ein Verfahren zur Kompensation von Störungen bei
35 einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal und

eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens anzugeben, wobei das Verfahren einfach auszuführen ist und die Schaltungsanordnung einfach herstellbar ist und keine aufwendige Adaption von Koeffizienten erforderlich ist.

5

Dieses Problem wird durch ein Verfahren zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal mit den Merkmalen von Patentanspruch 1 und durch eine Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens mit den Merkmalen des Patentanspruches 4 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den jeweiligen Unteransprüchen.

10

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal. Die Störungen werden im wesentlichen durch den Einschwingvorgang eines Übertragungskanals, über den das Signal übertragen wird, verursacht. Das Signal weist eine Vielzahl von Symbolen auf und jedem Symbol ist ein zyklisches Prefix vorangestellt. Aus den digitalisierten Abtastwerten des Signals wird eine Vielzahl von Parametern berechnet. Aus der Vielzahl von Parametern wird wiederum näherungsweise der Einschwingvorgang des Übertragungskanals berechnet. Zur Kompensation der Störungen wird der näherungsweise berechnete Einschwingvorgang von den digitalisierten Abtastwerten subtrahiert. Vorteilhafterweise wird die Vielzahl von Parametern direkt aus dem Signal berechnet und es ist keine zeitaufwendige Adaption von Koeffizienten wie bei Zeitbereichsentzerrern notwendig. Somit können auch keine Konvergenzprobleme, die durch eine zu lange Adaption verursacht werden, auftreten. Der näherungsweise berechnete Einschwingvorgang ergibt sich dabei aus der Überlegung, daß sich der Übertragungskanal wie ein lineares System niedriger Ordnung verhält und der Einschwingvorgang eines solchen Systems sehr einfach berechnet werden kann. Vorteilhafterweise kann der näherungsweise

20

25

30

35

berechnete Einschwingvorgang im Zeitbereich oder im Frequenzbereich von den digitalisierten Abtastwerten subtrahiert werden. Bei einer Subtraktion im Frequenzbereich ist keine Fouriertransformation des näherungsweise berechneten Einschwingvorganges nötig, da die Koeffizienten, die mit den Einschwingvorgang definierenden Exponentialfunktionen multipliziert werden, gleich bleiben. In einer bevorzugten Ausführungsform wird jeder Parameter durch Subtrahieren eines Paares von digitalisierten Abtastwerten berechnet. Besonders bevorzugt weist dabei jedes Paar von digitalisierten Abtastwerten einen digitalisierten Abtastwert eines Symbols und einen digitalisierten Abtastwert eines zyklischen Prefix auf.

Die Erfindung betrifft weiterhin eine Schaltungsanordnung zur Durchführung eines Verfahrens zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal. Das Signal weist eine Vielzahl von Symbolen auf und jedem Symbol ist ein zyklisches Prefix vorangestellt. Digitalisierten Abtastwerte des Signals werden dabei einem Seriell-Parallel-Wandler zugeführt. Es ist ferner eine Vielzahl von Subtrahiererschaltungen vorgesehen. Jede Subtrahiererschaltung subtrahiert einen digitalisierten Abtastwert des Symbols und einen entsprechenden digitalisierten Abtastwert des dem Symbol vorangestellten zyklischen Prefix voneinander. Als Ergebnis der Subtraktion ergibt sich eine dem digitalisierten Abtastwert des zyklischen Prefix überlagerte Störung. Für jeden Koeffizienten der Gleichung, die zur näherungsweisen Berechnung des Einschwingvorganges des Übertragungskanals aufgestellt wurde, sind Multipliziererschaltungen vorgesehen, die das Ausgangssignal jeder Subtrahierschaltung mit den Koeffizienten multiplizieren. Das Ausgangssignal jeder Multipliziererschaltung wird dann von dem entsprechenden digitalen Abtastwert des Symbols subtrahiert.

Weitere Vorteile, Merkmale und Anwendungsmöglichkeiten der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen in Verbindung mit der Zeichnung. In der Zeichnung zeigt

5

Fig.1 ein Blockschaltbild des Verfahrens zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal; und

10 Fig.2 ein Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal; und

15 Fig.3 einen Block des mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signals.

In Figur 1 ist ein Blockschaltbild mit den für die Erfindung wesentlichen Komponenten und drei gestrichelt abgebildeten
20 verschiedenen Ausführungsbeispielen des Verfahrens dargestellt. Das dargestellte Blockschaltbild entspricht dabei einem Empfänger für ein mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugtes Signal.

25 Ein analoges Empfangssignal, das mit der diskreten Multiton-Modulation erzeugt worden ist, wird einem Analog-Digital-Umsetzer 1 zugeführt. Der Analog-Digital-Umsetzer 1 tastet das analoge Empfangssignal ab und setzt die Abtastwerte des analogen Empfangssignals in digitale Werte um.

30

Ein Block des mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signals ist in Figur 3 dargestellt. Eine Anzahl $N+P$ von digitalen Werten bildet dabei den Block, der ein übertragenes Symbol, das aus N digitalen Werten besteht, enthält. Die restlichen P digitalen Werte des Blocks entsprechen den letzten P
35

digitalen Werten des Symbols und bilden einen Cyclic-Prefix. Der Cyclic-Prefix steht dabei am Anfang des Blocks. Durch den Cyclic-Prefix wird eine "Pseudo-Periodizität" erzeugt, die dem Empfänger eine leichtere Frequenzbereichsentzerrung des empfangenen Signals ermöglicht. Dabei kann nämlich der Übertragungskanal als lineare Übertragungsfunktion angesehen werden.

Wie in Figur 1 dargestellt, werden die digitalen Werte des Blocks einerseits einer Einheit zum Entfernen des Cyclic-Prefix 2 und andererseits einer Kompensatoreinheit zur Parameterberechnung 3 zugeführt.

Die Kompensatoreinheit zur Parameterberechnung 3 errechnet aus dem Cyclic-Prefix Störungen, die durch den Einschwingvorgang insbesondere des Übertragungskanals entstanden sind. Dazu werden die entsprechenden digitalen Werte des Cyclic-Prefix und des Symbols voneinander subtrahiert. Das Ergebnis der Subtraktion entspricht den Störungen. Dies gilt selbstverständlich nur, wenn die Impulsantwort des Übertragungskanals kürzer als die Zeitdauer eines Symbols einschließlich Cyclic-Prefix ist. In diesem Fall können die digitalen Werte am Ende eines Blocks als eingeschwungen und fehlerfrei betrachtet werden. Dadurch können Störungen aufgrund des Einschwingvorgangs sehr genau berechnet werden. Aus diesen Störungen berechnet die Kompensatoreinheit 3 Parameter für eine lineare Gleichung, die näherungsweise den Einschwingvorgang, der im wesentlichen die Störungen verursacht, angibt.

Die lineare Gleichung zur näherungsweisen Berechnung des Einschwingvorganges beruht auf der Annahme, daß sich der Einschwingvorgang wie der Einschwingvorgang bei einem linearen System niedriger Ordnung verhält. Als ausreichend stellten sich dabei Systeme erster und zweiter Ordnung heraus. Bei einem beispielhaften System zweiter Ordnung weist die Gleichung

zur Berechnung des Einschwingvorganges zwei Parameter c_1 und c_2 auf. Die allgemeine Form der Gleichung zur zur Berechnung des Einschwingvorganges wird durch die folgende Formel dargestellt:

5

$$e(n \cdot T) = c_1 \cdot f_1(n \cdot T) + c_2 \cdot f_2(n \cdot T) + \dots$$

Die Funktionen $f_i(n \cdot T)$ sind Exponentialfunktionen, die auch konjugiert komplex sein können. Durch eine Z-Transformation gilt im Frequenzbereich folgende Gleichung zur Berechnung des Einschwingvorganges:

10

$$E(z) = c_1 \cdot F_1(z) + c_2 \cdot F_2(z) + \dots$$

Zur Berechnung von zwei Parametern c_1 und c_2 werden somit zwei digitale Werte der Störungen aufgrund des Einschwingvorganges benötigt.

15

Die berechneten Parameter können einerseits einer Einheit zur Berechnung des Einschwingvorganges 4 und andererseits einer Einheit zur Transformation in den Frequenzbereich 5 zugeführt werden.

20

Findet die Kompensation der Störungen im Zeitbereich statt, so wird der Einschwingvorgang, der von der Einheit zur Berechnung des Einschwingvorganges 4 errechnet wurde, mittels eines ersten Subtrahierers 8 von den Ausgangswerten der Einheit zur Entfernung des Cyclic-Prefix 2 subtrahiert. Die so berechneten fehlerfreien digitalen Werte werden dann einer Einheit zur Berechnung der schnellen Fourier-Transformation 9 (FFT) zugeführt, die das durch die digitalen Werte dargestellte Signal vom Zeit- in den Frequenzbereich umsetzt.

25

30

Soll stattdessen die Kompensation der Störungen im Frequenzbereich stattfinden, werden die Ausgangswerte der Einheit zur

Transformation in den Frequenzbereich 5 mittels eines zweiten Subtrahierers 10 von den Ausgangswerten der Einheit der zur Berechnung der schnellen Fourier-Transformation 9 subtrahiert. Die so berechneten fehlerfreien digitalen Werte werden
5 dann einem Frequenzbereichsentzerrer 11 (FEQ = Frequency Equalization) zugeführt.

Der Frequenzbereichsentzerrer 11 ist als adaptives digitales Filter ausgeführt, dessen Koeffizienten zu Beginn einer Übertragung an den Übertragungskanal angepaßt werden. Ist der
10 Frequenzbereichsentzerrer vollständig angepaßt, so stellt die Übertragungsfunktion die inverse Übertragungsfunktion des Übertragungskanals dar.

15 Die angepaßten Werte des digitalen Filters des Frequenzbereichsentzerrers werden einer Einheit zur Systemanalyse 6 zugeführt. Die Einheit zur Systemanalyse 6 berechnet aus den zugeführten Koeffizienten die Eigenschaften des Übertragungskanals und stellt daraus die Gleichung zur näherungsweisen
20 Berechnung des Einschwingvorganges des Übertragungskanals zusammen. Diese Gleichung wird der Kompensatoreinheit zur Parameterberechnung 3 zugeführt und von dieser ausgewertet.

Als dritte Alternative kann die Kompensation von Störungen
25 nach der Frequenzbereichsentzerrung durch den Frequenzbereichsentzerrer 11 stattfinden. Dazu werden die Ausgangswerte der Einheit zur Transformation in den Frequenzbereich 5 einer Einheit zur Multiplikation mit den FEQ-Koeffizienten 7 zugeführt. Die Einheit zur Multiplikation mit FEQ-Koeffizienten 7
30 multipliziert die zugeführten Werte mit den angepaßten Koeffizienten des Frequenzbereichsentzerrers 11. Die Ausgangswerte der Einheit zur Multiplikation mit FEQ-Koeffizienten 7 werden dann mittels eines dritten Subtrahierers 12 von den Ausgangswerten der Einheit zur Frequenzbereichsentzerrung 11 subtrahiert.
35

Die so errechneten störungsfreien digitalen Werte werden schließlich einer Einheit zur Entscheidung und Dekodierung 13 zugeführt, die ein digitales Signal erzeugt, das die im analogen Empfangssignal enthaltene Information enthält.

In Figur 2 ist ein Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung zur Durchführung des Verfahrens dargestellt.

Bei diesem Ausführungsbeispiel findet die Kompensation der Störungen im Zeitbereich vor einer schnellen Fourier-Transformation statt.

Ein analoges Empfangssignal wird einem Analog-Digital-Umsetzer 14 zugeführt, der das zugeführte analoge Empfangssignal in digitale Werte umsetzt.

Die digitalen Werte am Ausgang des Analog-Digital-Umsetzers 14 werden einer Einheit zur Seriell-Parallel-Wandlung 15 zugeführt.

Die Einheit zur Seriell-Parallel-Wandlung 15 weist $N+P$ Speicherplätze für digitale Werte auf. $N+P$ digitale Werte bilden genau einen Block des mit diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signals. Ein Block weist dabei am Anfang das Cyclic-Prefix, das aus P digitalen Werten besteht, und darauf folgend das Symbol, das aus N digitalen Werten besteht, auf.

In diesem Ausführungsbeispiel wird der Übertragungskanal als ein System 1. Ordnung betrachtet, wobei zur Berechnung des Einschwingvorganges lediglich ein digitaler Wert der Störungen benötigt wird.

Unter der Annahme, daß Einschwingvorgang des Kanals bereits vor den letzten digitalen Wert eines Blocks (Speicherplätze

1, 2) bereits abgeklungen ist, wird der Fehler aufgrund des Einschwingvorganges durch Subtraktion des letzten digitalen Wertes des Blocks (Speicherplatz 1) und des letzten digitalen Wertes des Cyclic-Prefix (Speicherplatz N+1) berechnet.

5

Dazu werden diese digitalen Werte einem Subtrahierer 16 zugeführt. Der berechnete Fehler am Ausgang des Subtrahierers 16 wird jeweils einem Multiplikator 15, 17 zugeführt. Für jeden der N digitalen Werte des Symbols ist dabei Multiplikator
10 vorgesehen. Jeder Multiplikator multipliziert den Fehler am Ausgang des Subtrahierers 16 mit einem Parameter, der mit der Systemgleichung für ein lineares System 1.Ordnung berechnet wurde.

15 Der berechnete Einschwingvorgang wird jeweils von einem digitalen Wert des Symbols mittels Subtrahierer 19, 20 subtrahiert.

Die so berechneten und korrigierten digitalen Werte des Symbols werden dann einer Einheit zur schnellen Fourier-
20 Transformation 21 zugeführt, die das durch die zugeführten digitalen Werte dargestellte Signal von Zeit- in den Frequenzbereich zur Weiterverarbeitung umsetzt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal, wobei die Störungen im wesentlichen durch den Einschwingvorgang eines Übertragungskanals, über den das Signal übertragen wird, verursacht werden, wobei das Signal eine Vielzahl von Symbolen aufweist und jedem Symbol ein zyklisches Prefix vorangestellt ist,

10 dadurch gekennzeichnet, daß

a) aus den digitalisierten Abtastwerten des Signals eine Vielzahl von Parametern berechnet wird,

b) aus der Vielzahl von Parametern der Einschwingvorgang des Übertragungskanals näherungsweise berechnet wird,

15 c) der näherungsweise berechnete Einschwingvorgang von den digitalisierten Abtastwerten jedes Symbols subtrahiert wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß

20 jeder Parameter durch Subtrahieren eines Paares von digitalisierten Abtastwerten berechnet wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß

25 jedes Paar von digitalisierten Abtastwerten einen digitalisierten Abtastwert eines Symbols und einen digitalisierten Abtastwert eines zyklischen Prefix aufweist.

4. Schaltungsanordnung zur Durchführung eines Verfahrens zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal, wobei das Signal eine Vielzahl von Symbolen aufweist und jedem Symbol ein zyklisches Prefix vorangestellt ist, wobei die digitalisierten Abtastwerte des Signals einem Seriell-Parallel-Wandler (15) zugeführt werden, 35 dadurch gekennzeichnet, daß

- eine Vielzahl von Subtrahiererschaltungen (16) vorgesehen sind, wobei jede Subtrahiererschaltung einen digitalisierten Abtastwert des Symbols und einen digitalisierten Abtastwert des dem Symbol vorangestellten zyklischen Prefix voneinander
5 subtrahiert,
- eine Vielzahl von Multipliziererschaltungen (15, 17) vorgesehen ist,
- das Ausgangssignal jeder Subtrahierschaltung jeweils einer
der Vielzahl von Multipliziererschaltungen (15, 17) zugeführt
10 wird, und
- das Ausgangssignal jeder Multipliziererschaltung (15, 17)
von dem entsprechenden digitalen Abtastwert des Symbols sub-
trahiert wird (19, 20).

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kompensation von Störungen bei einem mit Diskreter Multiton-Modulation erzeugten Signal. Die Störungen werden im wesentlichen durch den
5 Einschwingvorgang eines Übertragungskanals, über den das Signal übertragen wird, verursacht. Das Signal weist eine Vielzahl von Symbolen auf und jedem Symbol ist ein zyklisches Prefix vorangestellt. Aus den digitalisierten Abtastwerten
10 des Signals wird erfindungsgemäß eine Vielzahl von Parametern berechnet. Aus der Vielzahl von Parametern wird näherungsweise der Einschwingvorgang des Übertragungskanals berechnet. Zur Kompensation der Störungen wird der näherungsweise berechnete Einschwingvorgang von den digitalisierten Abtastwerten
15 subtrahiert.

Figur 1

Analoges
Empfangssignal

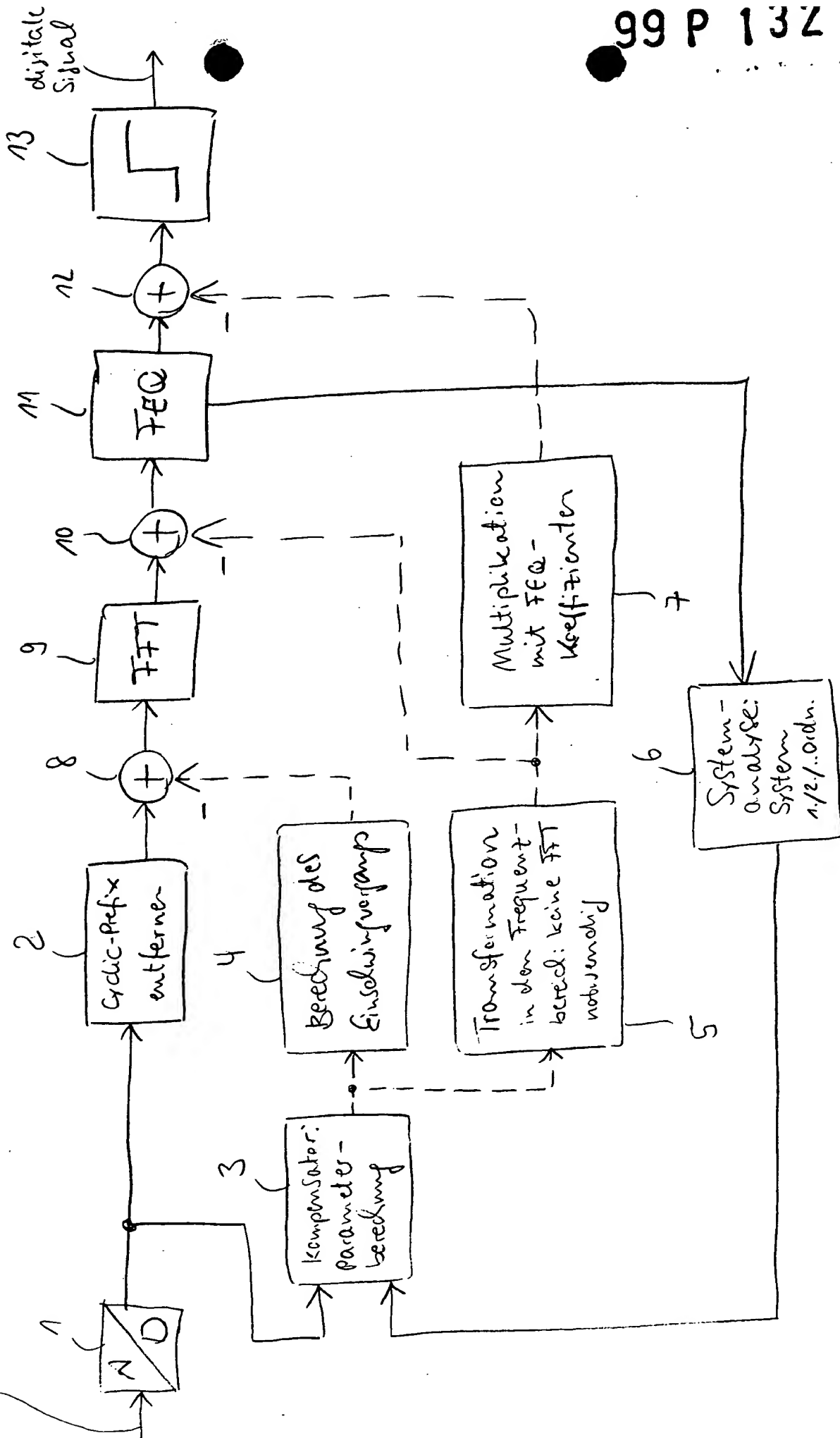


Fig. 1

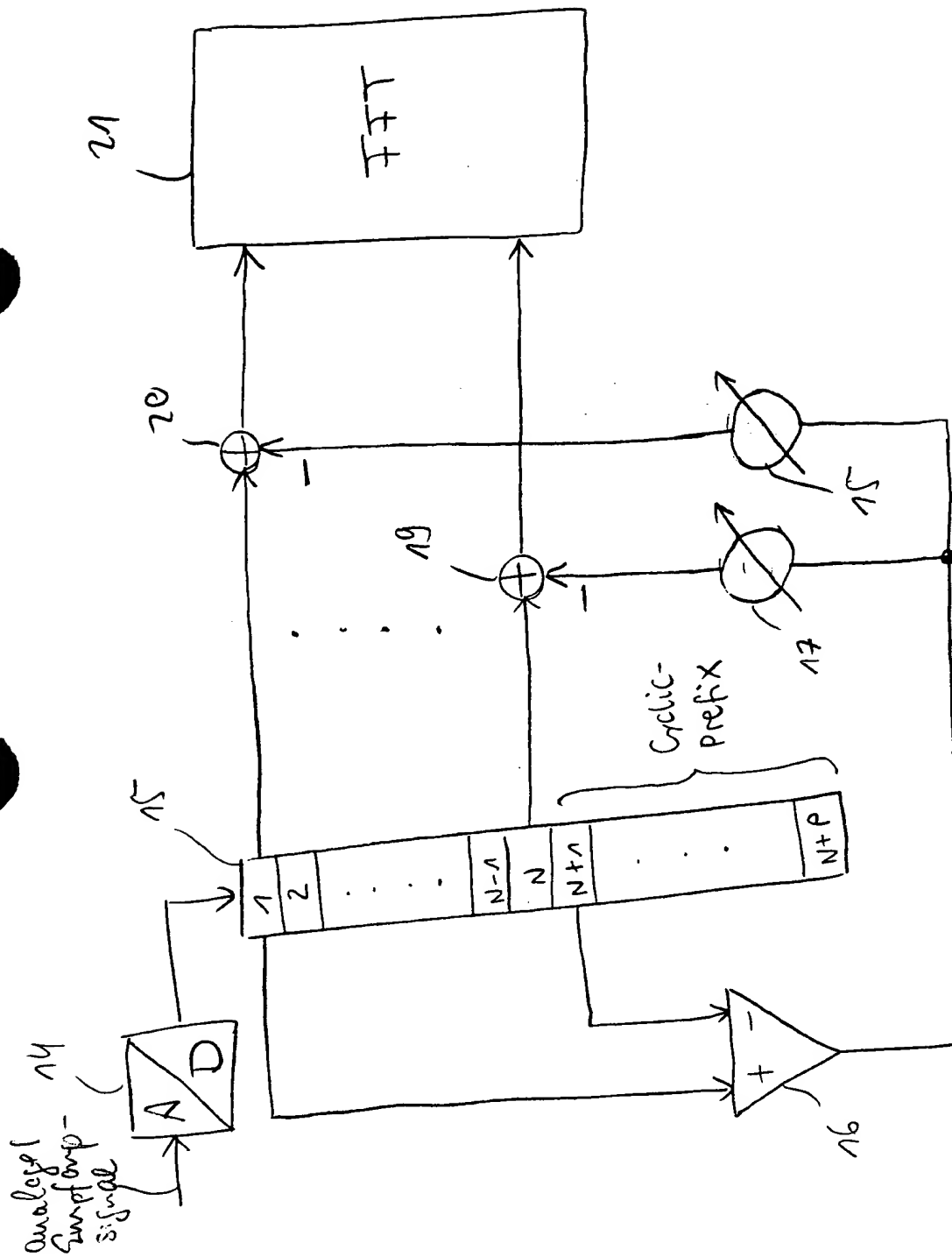


Fig. 2

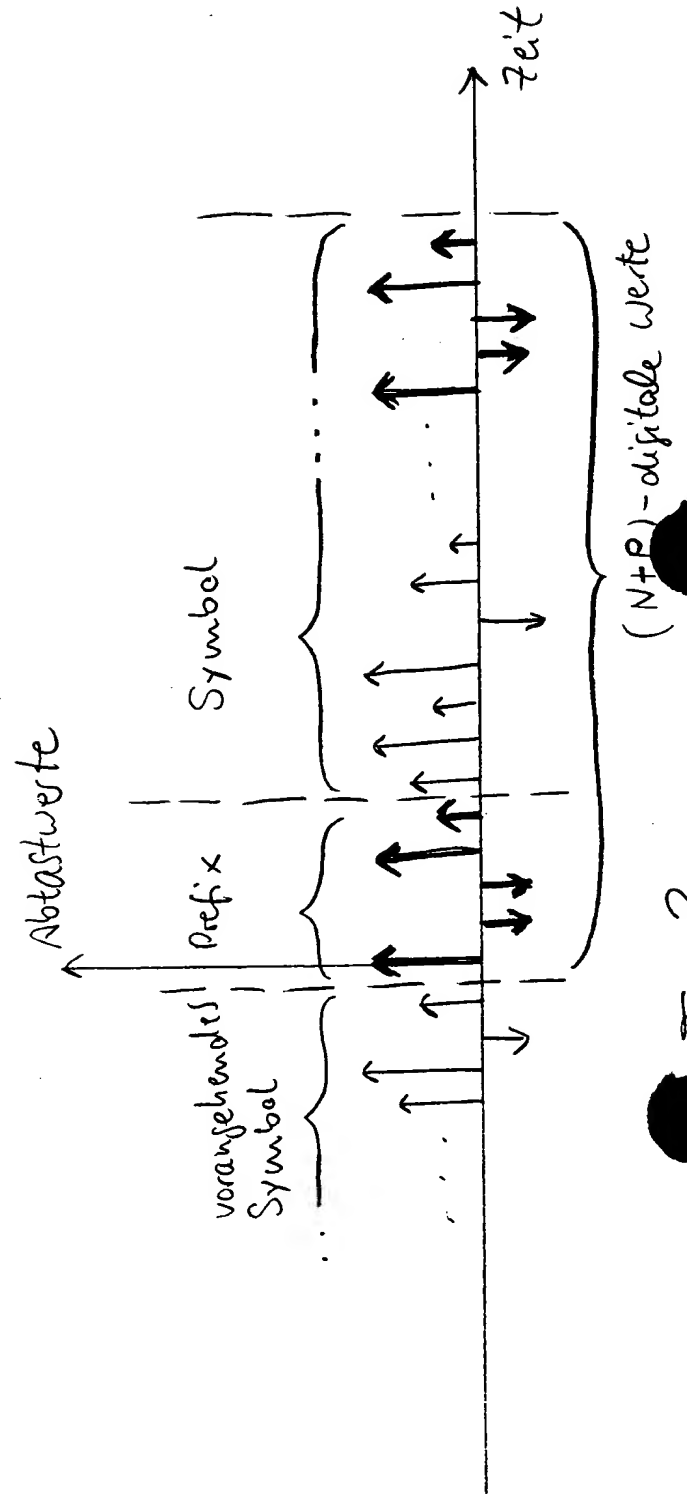


Fig. 3